

令和 6 年 6 月 18 日現在

機関番号：33903

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2023

課題番号：20K14989

研究課題名（和文）WiFi シグナル計測による人流推定を利用した避難シミュレーション技術開発

研究課題名（英文）Development of Evacuation Simulation Method Based on Human Flow Estimation via WiFi Signal Measurements

研究代表者

内種 岳詞 (Uchitane, Takeshi)

愛知工業大学・情報科学部・准教授

研究者番号：70710143

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：リアルタイムに人の流れが把握できることは、地下街など状況把握が困難な場所からの避難誘導などに役立つ。そのため、本研究では、時々刻々と変化する人の流れをWiFiシグナル計測データからリアルタイム推定する手法の開発に取り組んだ。また、社会応用として名古屋駅地下街エスカからの避難シミュレーションを実施した。そして、リアルタイムに人数推定が可能となった場合、避難者数に応じた適切な避難誘導を実施することにより避難完了時間を短縮できることが避難シミュレーション結果から明らかになり、リアルタイム人流推定フレームワークの有用性が示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

社会データの入手にあたり、利用者が必要とする時空間スケールで十分な量の社会データを入手することは困難であり、任意の時空間スケールの社会データ取得フレームワークの有用性や応用可能性が示されることで、社会データの取得・共有が促進され、社会データを利用した研究分野が活性化されることが期待される。

研究成果の概要（英文）：Real-time estimation of human flow may be useful for evacuation guidance at places such as underground malls, where it is difficult to grasp the situation. For this reason, we have developed a real-time estimation method of human flow based on WiFi signal measurements. In addition, as a social application, we conducted a simulation of evacuation from ESCA underground shopping mall near by the Nagoya Station. The simulation showed that when the number of people can be estimated in real-time, the evacuation completion time can be shortened by providing appropriate evacuation guidance according to the number of evacuees, indicating the usefulness of the real-time human flow estimation framework.

研究分野：社会システム科学

キーワード：リアルタイム人流計測 WiFiシグナル計測 避難シミュレーション

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

人工知能によるビッグデータ分析の目覚ましい成果の公表から、社会データ分析による新たな価値創造が期待されていた。加えて、Society 5.0 で掲げられる「サイバー空間（仮想空間）とフィジカル空間（現実空間）を高度に融合させたシステム」においては、社会データは様々なシステムと相互共用され価値を創造することが期待されていた。ここで、社会における人や物の移動は重要な役割を果たしており、特に、人の移動と滞在（以降、「人流」と呼ぶ）に関するデータは避難誘導や観光活性化などの目的を達成するのに役立つ。しかし、公開されている人流データは時空間スケールが観測者・公開者によってあらかじめ決められていることから、

問題 1: 「利用者が必要とする時空間スケールで十分な量のデータを入手することは困難」であった。

一方で、WiFi センサーによる人流計測手法 が注目されるなど、社会データを利用者が必要とする時空間スケールで入手可能にする一般的なフレームワークの開発と応用可能性の検証が始まろうとしていた。しかし、社会データ利用者が必要とする時空間スケールで社会データを取得できる一般的なフレームワークは普及しておらず、また応用事例も少ないことから、

問題 2: 「任意の時空間スケールのデータ取得フレームワークの有用性や応用可能性は未知」であった。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、「WiFi シグナル計測によるリアルタイム匿名人流推定のためのフレームワークを利用し、避難シミュレーションでのリアルタイム人流データ利用の有用性を検証すること」である。本研究における独創的な点は、この検証実験において、より時空間粒度の詳細な社会データを利用したとき、社会シミュレーション結果が受ける影響に着目することである。つまり、リアルタイムに人数推定が可能となった場合、避難者数に応じた適切な避難誘導を実施することにより避難完了時間を短縮できることが避難シミュレーションで明らかになれば、リアルタイム人流推定フレームワークの有用性が示される。

よって、問題 1 と問題 2 を解決するために、以下の課題解決を目的とする。

- 課題 I. WiFi シグナル計測によるリアルタイム匿名人流推定のためのフレームワーク開発
- 課題 II. 避難シミュレーションでのリアルタイム人流データ利用の有用性を検証

### 3. 研究の方法

本研究では、2. 研究の目的で述べた課題 I と課題 II の解決のため、以下の手順(1)～(3)で研究を実施する。

#### (1) WiFi シグナル計測によるリアルタイム匿名人流推定のためのフレームワーク開発

課題 I 解決のため、人流のリアルタイム推定データを得るフレームワークを開発することを試みる。まず、WiFi シグナルを計測する装置内で、計測データに含まれる MAC アドレス情報を個人位置情報保護のためハッシュ暗号化処理し、暗号化したデータをデータベースに送信する仕組みを開発する。次に、データベースでは、計測装置から送られてくる観測データを欠損無く受信し、保管する仕組みを開発する。データの転送にはインターネットを利用するため、データ送受信時の盗聴対策はもちろん、データベースへの外部アクセス制限など、個人情報の保護に適した設定をする。そして、定期的送られてくる観測データからリアルタイム人流推定をするアルゴリズムを開発する。

#### (2) 人流リアルタイム推定の実施

引き続き、課題 I 解決のため、方法(1)で開発したフレームワークによる人流推定精度を検証する。データベースサーバーに保管されているデータは、リアルタイム人流推定アルゴリズムを専用装置で処理することにより、任意の時空間粒度で人流データに加工できる。そして、推定された人流と実際の人流をカメラで撮影した結果とを比較し、ノイズ処理のパラメータ調整を経てリアルタイム人流推定精度を明らかにする。こうして、避難シミュレーションで利用可能な任意の時空間粒度の人流データとその推定精度を得られたことを公表する。

#### (3) 避難シミュレーションでの人流データ利用の有用性を検証

課題 II 解決のため、避難シミュレーションに与える人数の時間推移の時間粒度を変えることにより、予測避難時間が受ける影響を検証する。すなわち、1 時間や 1 日といった特定の時間間隔で統計処理した人流データを避難シミュレーションで利用するのではなく、リアルタイムに推移する人数と空間分布を与えることでシミュレーション結果に現れる差を評価する。前者が統計的に得られた平均的な人数とその分布から避難時間を推定するのに対して、後者はより多様な初期条件に対する避難時間を得ることができる。そして、シミュレーション実験で得られた多様な入出力結果に多変量解析を適用して特徴抽出をし、新たな知見を得る。また、様々な要因を仮定しなければならぬ社会シミュレーションにおいて、シミュレーション結果に影響を与

える要因は平均値周りに値を変化させたシミュレーションを実行して結果の頑健性を確認する。従来手法により、平均値周りに値を変化させたときに得られる入出力結果と多様な実データ入力に対して得られた出力結果のそれぞれに多変量解析を適用し、その結果の差を検証することにより、社会データと社会システムの相互共有の有用性を明らかにし、得られた知見を公開する。

#### 4. 研究成果

3. で述べた研究手順に従って(1)～(3)の研究成果を得た。

##### (1) WiFi シグナル計測によるリアルタイム匿名人流推定のためのフレームワーク開発

リアルタイム人流計測装置を開発し、その利用例として「WiFi シグナル計測によるオープンキャンパス会場混雑度リアルタイム可視化」の表題で計測自動制御学会システム・情報部門大会2020にて発表した。発表では、人流計測装置からインターネットを通じて匿名化された人流データがデータベースに送信され、データベースの処理を経て Web ページ上に人の混雑度を 5 分毎に可視化することに成功し、このことを報告した。

##### (2)人流リアルタイム推定の実施

新型コロナウイルス COVID-19 の世界的感染拡大により三密を避けるため、名古屋地下街エスカにおいても人通りが少なくなり、避難シミュレーションのための日常的な人流のリアルタイム推定データを得る課題が残った。コロナ禍により日々の人の流れの変化が大きいことから、日常的な人流をリアルタイムに長期間計測できず、代わりに日々の人の流れの変動の大きさを見積もることを目的として、2022年8月4日から5日にかけて名古屋駅地下街エスカで開発した人流計測フレームワークを利用した人流計測を1日実施した。しかし、一部の計測装置でデータ欠損が生じたため、地下街全体の滞在者の時空間分布を得ることは困難となった。原因を究明し、再計測を予定している。

以上より、リアルタイム人流計測装置の開発には成功したが、避難シミュレーションを行う予定であった名古屋駅地下街エスカにおけるリアルタイム人流推定には至らず、その精度評価は達成できなかった。なお、コロナ禍における日々の人流が大きく変わる場合においても、匿名性を維持して時空間粒度が可変の人流データ推定を可能とするために、また、実際の人流を計測するために、LiDAR センサーを利用した人流計測を試み、WiFi シグナルからの人数推定精度向上を試みた。加えて、GPS センサを利用した混雑時の人の挙動について調査を行い、動画を利用した人の追跡や移動速度の推定精度についても調査した。これらの追加検証及び調査についても国内学会発表にて公表した。

##### (3)避難シミュレーションでの人流データ利用の有用性を検証

人流シミュレータ PTV Vissim を利用し、名古屋駅地下街エスカを対象とした避難シミュレーションを実施した。まず、研究成果(2)で述べたように、人流リアルタイム推定は名古屋駅地下街エスカで実施することができなかった。そのため、コロナ禍以前の2019年8月25日にオフライン計測した人流データを利用した。よって、リアルタイム人流推定の結果を利用できないことから、地下空間を18エリアに分割し、各エリアで午前6時から午後11時までの1時間ごとの滞在人数を初期配置としてシミュレーションを行った。すなわち、シミュレーションの開始時刻は午前6時から午後10時までの17時刻のみで、任意の時刻で避難シミュレーションを開始することはできない。地下街の出入り口に配置された人数カウンターによる17時刻ごとの地下街の人数を図1に、最も人が多い12時の人の分布を図2に示す。



図1: シミュレーション開始時の人数



図2: エリア番号(左:1-18)と滞在人数(右)

次に、東側3つの階段のみを利用する外水氾濫シナリオで避難時間が約14分と想定より長いシミュレーション結果が得られた。結果の信頼性を担保するため、「国土交通省の地下街の安心避難対策ガイドライン」で定められた地下街からの避難時間目安の7分を目標に、すべての階段を利用する避難シナリオで歩行者挙動の調整を行った。その結果、313秒で避難が完了し7分を下回った。歩行者挙動の調整後、再び東側階段のみを利用するシナリオで避難時間を得た結果、適切な誘導があれば、最も多くの来場者が存在する12時台でも、2,189人が502秒で避難を完了した。適切な誘導が必要なのはどの時刻でも同様であったが、避難時間の短縮度合いは人数や

逃げはじめの場所に影響を受けることがわかった(図3)。よって、エリアごとの人数に応じた避難誘導を可能にするリアルタイム人流推定フレームワークがあれば適切な避難経路を示せることから、その有用性が示され、この内容および論文文化に向けた調査研究4件は、国内会議にて公表した。しかしながら、研究方法(2)の人流のリアルタイム推定の実施は達成できていないことから、シミュレーション入出力関係の多変量解析による社会データと社会システムの相互共有の有用性検証は、今後の課題として残った。



図3: 避難誘導の有無と避難時間

<引用文献>

望月祐洋, 上善恒雄, 西田純二, 中野秀男, 西尾信彦, “Wi-Fi パケットセンサを利用した匿名人流解析システムの構築, 情報処理学会研究報告,” Vol. 2014-UBI-41, No.45, pp. 1-8 (2014)

石原 優, 服部 樹, 内種 岳詞, “WiFi シグナル計測によるオープンキャンパス会場の人数推定,” 計測自動制御学会 システム・情報部門学術講演会 2020 講演論文集, GS6-1-6, pp. 478-479 (2020)

服部 樹, 石原 優, 内種 岳詞, “WiFi シグナル計測によるオープンキャンパス会場混雑度リアルタイム可視化,” 計測自動制御学会 システム・情報部門学術講演会 2020 講演論文集, GS6-1-5, pp. 476-477 (2020)

石原 優, 内種 岳詞, 伊藤 暢浩, 岩田 員典, “LiDAR を用いたオープンキャンパス会場の入退場者検出,” 計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会 2021 講演論文集, SS6-1-2, pp. 106-108 (2021)

Yuu Ishihara, Takeshi Uchitane, Nobuhiro Ito, Kazunori Iwata, “Validation of Multiple Visitor Tracking with a Laser Rangefinder Using SMC Implementation of PHD Filter,” Proc. of SCIS&ISIS2022, W-3-F-1 (2022)

石原 優, 内種 岳詞, 伊藤 暢浩, 岩田 員典, “オクルージョンを考慮した通行者の位置推定のための粒子フィルタ適用の検討,” 発表原稿なし (2022)

小林 史明, 久留宮 雅貴, 林 宗一郎, 石原 優, 内種 岳詞, “Wi-Fi シグナルデータを用いた人数推定における回帰分析手法の比較,” 計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会 2021 講演論文集, SS6-1-5, pp. 115-116 (2021)

大野 りか, 内種 岳詞, “動画に映る人物の追跡に向けた人物の特徴マッチング手法の開発とその評価,” 2022 年 電気学会 電子・情報・システム部門大会 講演論文集, p.1551-1552 (2022)

野中 悠馬, 内種 岳詞, “カメラを利用した自動車通過台数および通過速度の推定手法の開発,” 2022 年 電気学会 電子・情報・システム部門大会 講演論文集, p.1553-1554 (2022)

福本 光重, 内種 岳詞, “名古屋駅地下街における人数分布の推定と避難シミュレーションの開発,” 計測自動制御学会 システム・情報部門学術講演会 2022 講演論文集, SS04-10, pp. 391-393 (2022)

国土交通省 都市局 街路交通施設化: 地下街の安心避難対策ガイドライン(改訂版), (2021)

白井 隆矢, 松浦 充輝, 内種 岳詞, “花火大会における GPS データを用いた人流計測と混雑度要因の一考察,” 計測自動制御学会 システム・情報部門学術講演会 2022 講演論文集, SS04-11, pp. 394-396 (2022)

山中 光佑, 内種 岳詞, “エスカ地下街の避難シミュレーションにおける歩行者挙動の調整とその効果の検証,” 計測自動制御学会 システム・情報部門学術講演会 2023 予稿集, pp. 173-175 (2023)

神原 透太, 今井 隼矢, 内種 岳詞, “機械学習を用いた愛知県における交通事故原因推定に関する一考察,” 計測自動制御学会 システム・情報部門学術講演会 2023 予稿集, pp. 176-178 (2023)

今井 隼矢, 神原 透太, 内種 岳詞, “愛知県における交通事故発生地点周辺の自動車交通シミュレーションの自動生成,” 計測自動制御学会 システム・情報部門学術講演会 2023 予稿集, pp. 179-181 (2023)

渡邊 匠, 内種 岳詞, “ドローンと機械学習による被災者検知と位置特定,” 計測自動制御学会 システム・情報部門学術講演会 2023 予稿集, pp. 171-172 (2023)

林 直希, 内種 岳詞, “深層学習による動画の興味領域の切り抜きの試み,” 計測自動制御学会 システム・情報部門学術講演会 2023 予稿集, pp. 121-122 (2023)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計15件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 Yuu Ishihara, Takeshi Uchitane, Nobuhiro Ito, Kazunori Iwata
2. 発表標題 Validation of Multiple Visitor Tracking with a Laser Rangefinder Using SMC Implementation of PHD Filter
3. 学会等名 SCIS&ISIS2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山中 光佑, 内種 岳詞
2. 発表標題 エスカ地下街の避難シミュレーションにおける歩行者挙動の調整とその効果の検証
3. 学会等名 計測自動制御学会 システム・情報部門学術講演会2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 神原 透太, 今井 隼矢, 内種 岳詞
2. 発表標題 機械学習を用いた愛知県における交通事故原因推定に関する一考察
3. 学会等名 計測自動制御学会 システム・情報部門学術講演会2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 今井 隼矢, 神原 透太, 内種 岳詞
2. 発表標題 愛知県における交通事故発生地点周辺の自動車交通シミュレーションの自動生成
3. 学会等名 計測自動制御学会 システム・情報部門学術講演会2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 渡邊 匠, 内種 岳詞
2. 発表標題 ドローンと機械学習による被災者検知と位置特定
3. 学会等名 計測自動制御学会 システム・情報部門学術講演会2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 林 直希, 内種 岳詞
2. 発表標題 深層学習による動画の興味領域の切り抜きの試み
3. 学会等名 計測自動制御学会 システム・情報部門学術講演会2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 福本 光重, 内種 岳詞
2. 発表標題 名古屋駅地下街における人数分布の推定と避難シミュレーションの開発
3. 学会等名 計測自動制御学会 システム・情報部門学術講演会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 白井 隆矢, 松浦 充輝, 内種 岳詞
2. 発表標題 花火大会におけるGPS データを用いた人流計測と混雑度要因の一考察
3. 学会等名 計測自動制御学会 システム・情報部門学術講演会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大野 りか, 内種 岳詞
2. 発表標題 動画に映る人物の追跡に向けた人物の特徴マッチング手法の開発とその評価
3. 学会等名 2022年 電気学会 電子・情報・システム部門大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 野中 悠馬, 内種 岳詞
2. 発表標題 カメラを利用した自動車通過台数および通過速度の推定手法の開発
3. 学会等名 2022年 電気学会 電子・情報・システム部門大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石原 優, 内種 岳詞, 伊藤 暢浩, 岩田 員典
2. 発表標題 オクルージョンを考慮した通行者の位置推定のための粒子フィルタ適用の検討
3. 学会等名 動的システムの状態推定とデータからの学習およびその応用研究会DS2ELD1A2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小林 史明, 久留宮 雅貴, 林 宗一郎, 石原 優, 内種 岳詞
2. 発表標題 Wi-Fiシグナルデータを用いた人数推定における回帰分析手法の比較
3. 学会等名 計測自動制御学会 システム・情報部門 学術講演会 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石原 優, 内種 岳詞, 伊藤 暢浩, 岩田 員典
2. 発表標題 LiDARを用いたオープンキャンパス会場の入退場者検出
3. 学会等名 計測自動制御学会 システム・情報部門 学術講演会 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 服部 樹, 石原 優, 内種 岳詞
2. 発表標題 WiFiシグナル計測によるオープンキャンパス会場混雑度リアルタイム可視化
3. 学会等名 計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石原 優, 服部 樹, 内種 岳詞
2. 発表標題 WiFiシグナル計測によるオープンキャンパス会場の人数推定
3. 学会等名 計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会2020
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------